

擬似投票方式に基づくハイブリッド型情報推薦システムに関する研究

著者	宇田 隆幸
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	情博第461号
URL	http://hdl.handle.net/10097/51140

氏名（本籍地）	宇田 隆幸
学位の種類	博士（情報科学）
学位記番号	情博第461号
学位授与年月日	平成21年 9月10日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科（博士課程）応用情報科学専攻
学位論文題目	擬似投票方式に基づくハイブリッド型情報推薦システムに関する研究
論文審査委員	（主査）東北大学教授 木下 哲男 東北大学教授 白鳥 則郎 東北大学教授 中島 康治

論文内容の要旨

あらまし

現在、ユーザ指向情報推薦システムに関する様々な研究開発が進展し、実用的なサービスも出現している。しかし、推薦対象の網羅性や推薦精度の向上は、依然として大きな課題となっている。そこで、従来システムにおいて未解決であった「推薦における網羅性と推薦予測の正確性」を同時に解決する問題、および「推薦予測計算量」を削減する問題に着目し、これらの問題を解決する手法に関して詳細に検討した。本論文は、その成果をまとめたもので、全編5章から成る。

第1章 序論

第1章では、最初に、本研究の必要性に関する背景および情報推薦システムの位置づけとあらましについて概説し、次に、関連研究や稼働中の情報推薦システムを紹介しながら、情報推薦システムの手法や問題点を示し、最後に、本研究の目的と技術的な課題を具体化することで、研究のアプローチを概観する。

第2章 擬似投票方式

第2章の目的は、協調フィルタリング（以降、CF）において関連研究が指摘する未解決の問題点である「評価値疎ら問題、および再生起問題」を解消することにより、「推薦アイテムを受け取れるユーザの網羅性およびユーザへの推薦対象となるアイテムの網羅性を高めること（以降、網羅性向上）」である。

網羅性が問題となる原因は、推薦アイテムを受け取る可能性のあるユーザが、閲覧可能なアイテムのほとんどを評価していないことによる。すなわち、ユーザの評価履歴を記録するためのアイテム－ユーザ評価マトリクスのセル値がスパースであることから、推薦アイテムを受け取るユーザと他のユーザとの嗜好の類似性を計算できないので、推薦アイテムを受け取れるユーザは少数派になる。また、誰も評価していないアイテムは、推薦スコアを予測できないので、推薦対象アイテムから外れる。なお、被推薦ユーザや被推薦アイテムが増大した際、この網羅性問題の悪影響が、顕著

になる。

網羅性問題を解消させるために、擬似投票方式と命名した仕組みを提案した。擬似投票方式とは、ユーザによるあるアイテムへの評価は、内容的に類似する別のアイテムも同じように評価するという仮説に基づいて、推薦予測計算で参照する「ユーザーアイテム評価マトリクス」の欠損値を自動的に補完して網羅性を改善する。

擬似投票実行のきっかけは、ユーザが評価投票を行ったとき、または、新規のアイテムが登録されたときである。

ここで、ユーザが評価していないアイテムへ擬似投票を行うか否かの判定手法（内容の類似判定）が重要になる。この理由は、擬似投票実施のハードルを下げると網羅性が向上する半面、投票ノイズが大きくなり推薦スコア予測の正確性が低下するからである。本研究では、擬似投票の有無判定手法を探究する目的で、形態素解析結果の要語結合における評価実験、ベクトル空間法を利用した複数の類似度計算方式の評価実験、最適な類似判定閾値決定に関する評価実験を繰り返すことで、網羅性と正確性の点でバランスのとれた類似判定方式を選択した。

擬似投票方式の評価方法は、①伝統的 CF 方式を搭載したシステムと、擬似投票方式を搭載したシステムとを製造し、②商用サイトから収集した非統制のユーザ評価履歴およびアイテム情報を使い、③伝統的 CF と提案方式とについて性能比較を行い、提案方式の優位性を示した。

擬似投票方式の実行によって、本章の目的である網羅性向上を達成できた。

第3章 推薦予測精度の改良手法

第3章では、擬似投票方式に基づいて推薦予測精度を改良する手法を提案している。ここでは、地域情報に関するアイテム集合を一例として、推薦予測の正確性に影響を与える要因の分析結果を反映した推薦機能の調整手法を考案し、実データによる評価実験により、推薦予測の正確性が向上することを示した。このことから、本手法と擬似投票方式との組み合わせにより、網羅性と推薦スコア予測精度を同時に改善できることを示した。

本研究では、推薦予測精度を高めるために「アイテムの内容」「ユーザ評価の傾向」「ユーザ評価と推薦予測の時間のずれ」に着目した。そして、着目した項目と推薦予測精度とを観測し、網羅性を低下させることなく推薦予測精度を高める手法を提案し評価した。

アイテムの内容：ユーザ評価の高低は、テキストに含まれる語、すなわち内容と何らかの関係があると考えた。そこで、ユーザ評価が高いアイテムとそうではないアイテム間において、「アイテムを特徴づける語」と「特徴語の出現位置（見出しまたはリード文／本文）」の2点に、統計上の差があるか否かを検討したところ、 χ^2 検定を実施したところ有意差があった。

ユーザ評価の傾向：複数のユーザによる評価の集計や閲覧数の集計は、そのアイテムの推薦スコア調整に利用できると考えた。そこで、ユーザ評価の傾向に関して、「ユーザ評価値の高低（満足度）」と「アイテムの閲覧数の増減（注目度）」に着目した。ユーザ評価値の高低については、およそ90%のユーザが満足するアイテムに対する推薦スコア予測値を加算した。人気の高いアイテムを推薦すると、高い確率で、推薦アイテムを受け取ったユーザも満足する傾向を観測したからである。アイテムの閲覧数の増減については、「現期間の閲覧数」が直前の期間の閲覧数よりも多い場合を推薦スコア調整の対象にした。ユーザ評価値の高低と同様、観測数の少なさやアイテムの内容が古くなったことを要因とする評価のぶれを観測した。アイテムの閲覧数が増加しているときは、満足度が高くなる傾向があるので、推薦スコア予測精度の向上において、利用価値があることが分かった。

ユーザ評価と推薦予測の時間のずれ：ユーザの嗜好は時間とともに変化するので、ユーザ評価は、時間がたつことでその価値が低下していくと考えた。ただし、ユーザ嗜好の変化は、個人差が大きいので、それを吸収する仕組みが必要である。ユーザを嗜好対象に変化のあるグループ①と、嗜好対象に変化のないグループ②とに分けて、ユーザによるアイテムの評価時期と推薦予測を行う時期の時間差が、推薦予測精度に影響をもたらすか否かを観測した。観測結果から、グループ①はグループ②と比べ、時間のずれが推薦スコア予測精度の低下につながることを確認した。

「アイテムの内容」「ユーザ評価の傾向」「ユーザ評価と推薦予測の時間のずれ」は、推薦スコア予測精度への影響因子である。各因子の状態によって、推薦スコアを調整することで、予測精度が変化する。本研究では、推薦スコア調整手法を確立し、商用の情報経線システムを使って、推薦スコアの調整を実施する場合と未実施の場合とをそれぞれ比較することで、提案方式の有効性を確かめた。

擬似投票方式と提案方式（推薦スコア調整手法）を同時に実装することで、本章の目的である網羅性を維持したまま推薦スコア予測精度を向上させることに成功した。

第4章 推薦予測計算量の削減手法

本章では、2章と3章で高まった網羅性・推薦予測の正確性を低下させることなく、推薦予測計算量を減らすことを目的とする。一般に、システムの稼働時間が長期間におよぶことで、ユーザ評価履歴の蓄積量が増え続け、推薦スコアの予測計算量も増加する。ユーザ評価履歴の蓄積量増加の対処を行わずに運用を継続すると、計画時間内に実施すべき推薦予測計算が終わらなくなる。また、記憶容量やCPU資源は有限であることから、資源不足を理由として、システム運用が破綻する。本章では、システムの破綻を防ぐ対処策を発見し、対処策を実装して評価実験を行うことで、提案方式の有用性を示した。

ユーザによる評価投票値のうち、投票時刻と現在時刻との時間差が大きくなるほど（ここでは、古い評価投票値とよぶ）、その投票値は、推薦予測の基になる情報としての「価値にばらつき」が生じる。ここにいう、価値のばらつきとは、推薦予測の基になる情報として、①推薦予測精度の向上に貢献する／しない、あるいは、②網羅性（被推薦対象ユーザやアイテム）の低下に影響する／しない、などの差が顕著になる。つまり、①推薦予測精度の向上に貢献しない評価投票値や、②網羅性の低下に影響しない評価投票値は、その価値が低く、削除しても問題がないと考えた。

①については、ユーザ評価投票値の削除とユーザ嗜好の変遷について、その関連性を調べ、系統的にユーザ評価投票値を削除する方式を検討した。そして、ユーザ嗜好の変遷が大きく、かつ、評価投票から現在時刻までのずれにしたがって評価値を削除する手法を提案し、評価実験を行った。価値の低い評価投票値から順に削除する手法を提案し、評価した。

結局、擬似投票方式と提案方式（推薦予測計算量の削減手法）を同時に実装することで、本章の目的である網羅性と推薦予測精度を低下させることなく推薦予測処理時間を削減することに成功した。

第5章 結論

5章では、本研究の背景、各章の要約、本研究の貢献および、今後の課題を述べた。本研究には3つの貢献がある。

網羅性向上による貢献：

従来方式では、推薦情報を受け取れるアクティブユーザの割合は20%未満で、情報推薦システムが成立しなかった。評価実験において、2章で提案した擬似投票方式を利用することで、98.8%のアクティブユーザが推薦情報を受け取れるようになった（評価値疎ら問題の解消）。この結果、テキスト情報を対象とする情報推薦システムが商用サイトでも成立するようになった。

さらに、誰も評価していないテキストを対象としたアイテムへ、システムが評価値を付けることに成功した（再生起問題の解消）。これによって、誰も評価していない新しく登録されたアイテムが推薦されるようになった。

結局、擬似投票方式によって、本研究の課題である「網羅性向上」ができた。

網羅性と正確性を同時に実現による貢献：

擬似投票方式に基づくハイブリッド型フィルタを用いて、網羅性を維持したまま、推薦予測精度を向上させる改良方式を提案した。提案方式は「アイテムの内容の特徴・ユーザ評価の特徴・ユーザ評価時と推薦予測時の時間差」に着目して、従来のアルゴリズムを2ヶ所改良した。

結局、提案手法によって、本研究の課題である「推薦予測精度の正確性向上」ができた。

推薦予測計算量削減による貢献：

システムの稼働時間の長期化にともない、ユーザ評価履歴の蓄積量が増え続け、推薦スコアの予測計算量も増加している。関連研究では、5年を超す期間に対する実験結果を示す文献がない。そこで本研究では、5年を超す期間のユーザーアイテム評価履歴も観測した。観測結果から、現状の網羅性と予測精度に関する性能を維持したまま、推薦スコア予測計算量と保存データ量を減らす手法の確立が必要であることを確認した。そして、古いユーザ評価値と擬似投票値を削除する方式を確立した。

結局、提案方式によって、本研究の課題である「計算量削減」ができた。

今後の課題：

本研究の効果が全ての情報領域に有効であることは示していない。ノーフリーランチ定理は、全ての情報領域に対して他の全ての方式よりも有効な推薦予測手法（機械学習手法）は存在しないとする。したがって、情報領域ごとに推薦予測手法を探る必要がある。

また、新しく情報推薦システムを作成する場合、1からシステムを再構築してきた。今後は、コア機能と推薦予測機能は分離すべきである。つまり、新たに情報推薦システムを構築するなら、コア機能は現行のエンジンを使い、特定の情報領域や特定のユーザに依存した推薦予測機能を求められる部品のみを設計すべである。

さらに、情報推薦システム同士が情報交換することで、推薦対象ユーザやアイテムの拡大や個別化、被推薦アイテムのトレンド予測など、自律的な判断に基づいた推薦予測処理が行えるように、エージェントシステムを利用した情報推薦システムの実装が望まれる。

論文審査結果の要旨

現在、ユーザ指向情報推薦システムに関する様々な研究開発が進展し、実用的なサービスも出現している。しかし、推薦対象の網羅性や推薦精度の向上は、依然として大きな課題となっている。そこで著者は、従来システムにおいて未解決であった「推薦における網羅性と推薦予測の正確性」を同時に解決する問題、および「推薦予測計算量」を削減する問題に着目し、これらの問題を解決する手法に関して詳細に検討した。本論文は、その成果をまとめたもので、全編5章から成る。

第1章は序論である。

第2章では、ユーザや被推薦アイテムが増大した際に顕著となる網羅性問題に対処するために擬似投票方式を提案している。本方式では、ユーザによるあるアイテムへの評価は、内容的に類似する別のアイテムも同じように評価するという仮説に基づいて、推薦予測計算で参照する「ユーザ-アイテム評価マトリクス」の欠損値を自動的に補完して網羅性を改善する。評価システムの実装と実験により、網羅性が大きく向上することを実証した。これは情報推薦における網羅性問題に対処する新しい手法の提案として評価される。

第3章では、擬似投票方式に基づいて推薦精度を改良する手法を提案している。すなわち、地域情報に関するアイテム集合を対象として、推薦予測の正確性に影響を与える要因の分析結果を反映した推薦機能の調整手法を考案し、実データによる評価実験により、推薦予測の正確性が向上することを示した。これは、本手法と擬似投票方式との組み合わせにより、網羅性と推薦精度を同時に改善できることを示した成果として高く評価できる。

第4章では、システムの稼働期間の長期化に伴う推薦予測計算量の増加を抑制する手法を提案している。すなわち、擬似投票方式に基づく推薦システムにおける「ユーザ-アイテム評価マトリクス」の要素を系統的に削減する手法を考案し、実データを用いた評価実験により、網羅性と予測精度を低下させることなく推薦予測時間が縮減できることを示した。この成果は、実用的な推薦システムの構築に向けた有用な知見である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、情報推薦システムにおける網羅性と推薦精度の向上、および推薦予測時間の短縮に関する新しい情報推薦手法を提案し、商用システムの実データを利用してその効果を実証したもので、ユーザ指向情報推薦システムならびに応用情報科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は、博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。